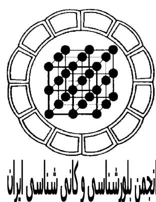
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۵۷ تا ۷۴



کانی‌شناسی، ساخت و بافت و زمین شیمی در رخداد معدنی مس ـ طلا فدیهه، شمال غربی تربت حیدریه

جواد صاحبی خادر[1] ، آزاده ملکزاده شفارودی*[2]، علیرضا مظلومی بجستانی[3]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۴/۲۸)

چکیده: منطقه اکتشافی مس ـ طلا فدیهه در شمال‌غربی تربت‌حیدریه، استان خراسان رضوی، در بخش مرکزی کمربند ماگمایی خواف-کاشمر- بردسکن قرار دارد. این منطقه شامل برونزدهایی از واحدهای آتشفشانی ـ آذرآواری به سن ائوسن با ترکیب اسیدی تا حدواسط است که گدازه‌ها ترکیب آندزیت و لاتیت دارند و واحدهای آذرآواری شامل توف ریوداسیتی، توف سنگی آندزیتی و ایگنیمبریت هستند. توده‌های نفوذی شامل هورنبلند مونزوگرانیت، سینوگرانیت، پیروکسن دیوریت پورفیری و کوارتزمونزونیت پورفیری هستند. کانی‌سازی کنترل ساختاری داشته و به شکل رگه ـ رگچه‌ای در راستای روند اصلی گسل‌های منطقه شمال غربی-جنوب شرقی (NW-SE) و شمال شرقی- جنوب غربی (NE-SW) تشکیل شده است. رگه‌های کانی‌سازی با راستای °۷۵ شرقی- °۴۵ شمالی و °۳۰ غربی °۱۵ شمالی، طول ۲ تا ۲۵ متر و ضخامت ۰٫۲ تا ۲متر دارند. مهمترین رگه‌های منطقه شامل کوارتز+اسپیکیولاریت± پیریت و کوارتز+ اسپیکیولاریت± کالکوپیریت هستند. سنگ میزبان شامل پیروکسن دیوریت پورفیری، کوارتزمونزونیت پورفیری و هورنبلند مونزوگرانیت است. ساخت و بافت کانی‌سازی شامل رگه ـ رگچه، پرکننده فضای خالی، برشی، جانشینی ثانویه، گل کلمی و پراکنده است. دگرسانی رگه‌های کانی‌سازی سیلیسی و کلریتی است. دگرسانی‌های پروپیلیتی، سیلیسی، کلریتی و آرژیلی در سنگ‌های میزبان و دیگر واحدهای سنگی منطقه دیده می‌شود. کانی‌های اولیه شامل اسپیکیولاریت، کالکوپیریت، پیریت و گالن و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کالکوزیت، کوولیت، گوتیت، هماتیت، لیمونیت، آزوریت و کریزوکلا هستند. بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین شیمی در رگه‌ها برای مس تا ۵٪، سرب تا ۳٪، نقره ۵۰ گرم در تن ، آرسنیک ۱۰۰گرم در تن و طلا تا ۷۹۱ میلی گرم در تن است. براساس موقعیت زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی رگه‌های کانی‌سازی، ساخت و بافت، گسترش و نوع دگرسانی، کانی‌سازی در منطقه اکتشافی فدیهه از نوع مس- طلا همراه با اکسید آهن (IOCG) است.

واژه‌های کلیدی: *ساخت و بافت؛ دگرسانی؛ کانی‌سازی؛ زمین شیمی؛ کانسارهای مس ـ طلا همراه با اکسید آهن؛ کمربند ماگمایی خواف ـ کاشمر- بردسکن.*

مقدمه

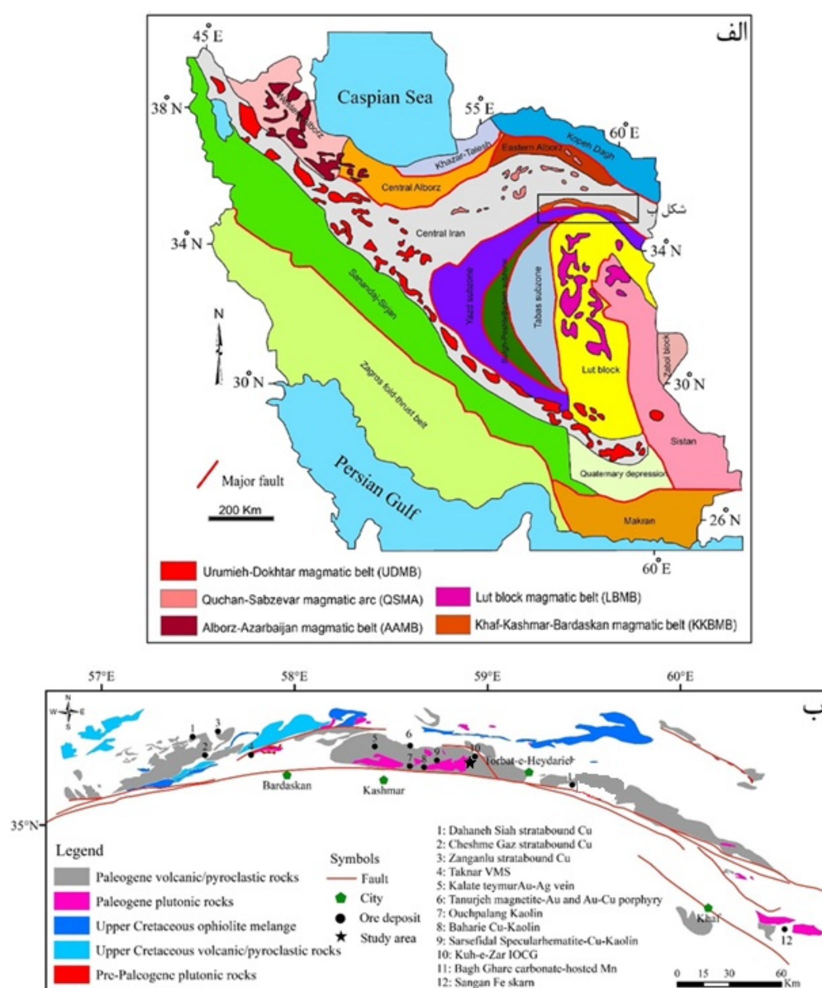
رخداد معدنی فدیهه در ۳۸ کیلومتری شمال‌غربی تربت حیدریه، در جنوب‌غربی روستای فدیهه و بین طول‌های جغرافیایی ″۲۰ ′۵۳ °۵۸ تا ″۲۵ ′۵۵ °۵۸ و عرض‌های جغرافیایی ″۴۰ ′۱۹ °۳۵ تا ″۴۰ ′۲۰ °۳۵ شمالی قرار دارد. منطقه مورد بررسی بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه [۱] و۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد [۲]، در بخش مرکزی کمربند آتشفشانی – نفوذی خواف –کاشمر–

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

بردسکن واقع است (شکل۱) [۳]. ویژگی ماگمایی و زمین ساخت این ناحیه باعث تبدیل آن به یکی از پهنه‌های مهم فلززایی در ایران شده است. این کمربند ماگمایی پتانسیل مناسبی برای اکتشاف انواع ذخایر آهن، مس، طلا، نقره و ذخایر غیرفلزی دارد. کریم‌پور و همکاران [۴] کمربند آتشفشانی – نفوذی خواف –کاشمر– بردسکن (KKBB) را به عنوان پهنه‌ای مهم برای پتانسیل کانی‌سازی نوع اکسید آهن- مس- طلا (IOCG) معرفی کرده‌اند. از مهمترین ذخایر این کمربند می‌توان به کانی‌سازی مگنتیت ـ اسپکیولاریت ـ مس ـ طلای شهرک در شرق کمربند [۵]، اسکارن آهن سنگان [۷،۶] و اسکارن آهن معدن‌جو [۸]، در شرق کمربند، ذخیره طلای IOCG کوه زر [۹-۱۱] و مگنتیت ـ طلای تنورجه [۱۲]، طلا ـ مس پورفیری تنورچه [۱۴،۱۳]، ذخیره مس ـ طلا نامق [۱۶،۱۵]، مس ـ طلا کلاته تیمور [۱۷] مس رگه‌ای زاوه [۱۸] مس± طلا نوع رگه‌ای سنگان [۱۹] کانی‌سازی نوع IOCG شمال‌شرق کاشمر [۲۱،۲۰]، کانسار مس چشمه گز (نسیم) [۲۲] و کانسار کال ابری در شمال‌غرب بردسکن [۲۳] و ذخایر غیرفلزی مهمی چون کائولن بهاریه، اوچ پلنگ و سرسفیدال [۲۴] اشاره کرد. رخداد معدنی فدیهه در جنوب کانسار کوه زر واقع است. در حال حاضر، فعالیت‌های اکتشافی و معدنی در بخش شمال‌غربی منطقه مورد بررسی در دستور کار شرکت زرمهر قرار دارد. این منطقه برای نخستین بار از نظر علمی بررسی شده است. در این پژوهش، ویژگی‌های کانه‌زایی، سنگ میزبان، چگونگی رخداد کانی‌سازی اکسیدی و سولفیدی و ارتباط آن با فعالیت ماگمایی منطقه براساس شواهد کانی‌شناسی و ساخت و بافت در پهنه‌های کانی‌سازی و بررسی‌های زمین شیمیایی تعیین شد.



شکل ۱ الف) تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری رسوبی ایران (برگرفته از مرجع [۳] با تغییرات)، ب) نقشه ساده شده کمربند ماگمایی خواف-کاشمر بردسکن همراه با کانی‌سازی‌های مهم و موقعیت منطقه مورد بررسی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

روش بررسی

در راستای اهداف این پژوهش، نخست یافته‌های پیشین شامل نقشه‌ها و گزارش‌ها جمع آوری و مطالعه شدند. سپس برای تهیه و رسم نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۵۰۰۰ :۱ در نرم افزار Arc GIS، تعداد ۱۱۰ نمونه سنگی از واحدهای مختلف شامل واحدهای آتشفشانی و توده‌های نفوذی برداشت گردید که از آنها، ۶۰ مقطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و دگرسانی تهیه شد. بررسی ساخت و بافت و کانی‌شناسی پهنه‌های دگرسان و ماده معدنی، توالی همبرزایی و همچنین تهیه نقشه توزیع رگه‌های کانی‌سازی در مقیاس ۵۰۰۰ :۱ با برداشت ۵۶ نمونه از سطح رگه‌های کانه‌دار و ترانشه‌ها، و تهیه ۲۵ قطعه صیقلی و ۱۵ مقطع نازک صیقلی انجام شد. برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی رگه‌ها نخست ۲۰ نمونه خرده‌سنگی برای (ICP-OES) بر پایه انحلال چهار اسید و ۱۰ نمونه به منظور عیار سنجی طلا به روش گرمایی انتخاب و به آزمایشگاه زرآزما ارسال شدند.

نتایج و بحث

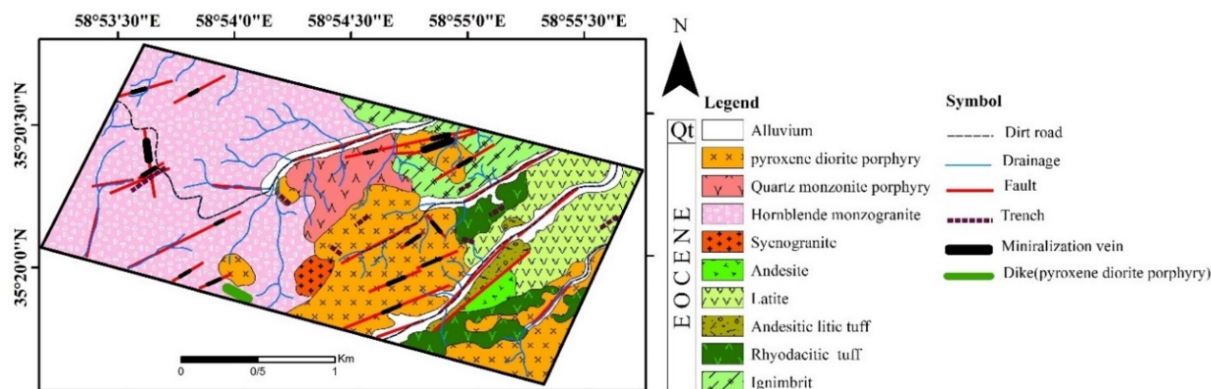
زمین شناسی و سنگ‌نگاری

در جنوب افیولیت‌های سبزوار- تربت حیدریه یک کمربند آتشفشانی ـ نفوذی بزرگ طی کرتاسه تا پلیو-کواترنر گسترش یافته است که از یک سو تا افغانستان و از سوی دیگر تا بیارجمند ادامه دارد. این کمربند طول بیش از ۳۵۰ کیلومتر و عرض ۱۵ تا ۹۰ کیلومتر دارد [۲۰]. کمربند یاد شده به نام کمربند آتشفشانی- نفوذی فلززایی ترشیر خواف - کاشمر - بردسکن (KKBB) با گسترش شرقی-غربی و خمیدگی به سوی شمال، در شمال گسل درونه (گسل کویر بزرگ) جای دارد [۲۰]. این کمربند اغلب از آذرین نفوذی‌های باتولیت گرانوتوئیدی تشکیل شده است که همرا با سنگ‌های آتشفشانی در راستای شمال گسل درونه بوده و به عنوان اجزای اصلی کرانه همگرای نوع آندی دیرینه‌زا مورد توجه هستند [۲۰].

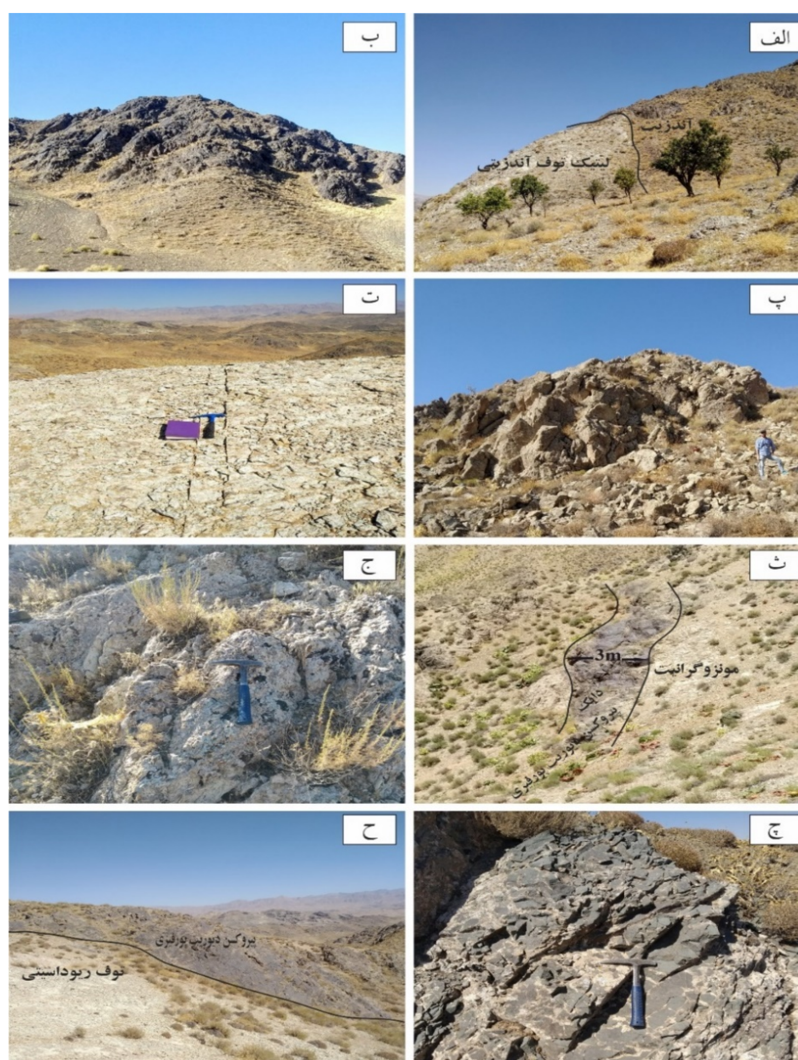
کمربند آتشفشانی - نفوذی خواف - کاشمر - بردسکن بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط و گاه مافیک ترشیری تشکیل شده است. این سنگ‌ها ترکیب داسیتی و آندزیتی دارند و توده‌های گرانیتوئیدی با ترکیبی از گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت در آنها نفوذ کرده‌اند [۲۵]. براساس نقشه ۱۰۰۰۰۰ :۱ فیض آباد [۲]، فعالیت آتشفشانی ترشیری با توف‌های خاکستری تیره و گاه ایگنیمبریتی شروع شده و با گدازه‌های سیاه رنگ با ترکیب آندزیتی همراه می‌شوند. روی این واحد، از توف‌های برشی سفید رنگ، برش‌های آتشفشانی، توف‌های ماسه‌ای خاکستری رنگ و ایگنمبریت و توف لاپیلی با ضخامت بسیار قرار دارند. فعالیت ماگمایی پس از ائوسن بیشتر با نفوذ گرانودیوریت و دیوریت در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآورای ائوسن مشخص می‌شود [۲]. منطقه مورد بررسی در بخش جنوب غربی کانسار طلای کوه زر واقع است.

براساس بررسی های صحرایی و آزمایشگاهی، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه واحدهای آتشفشانی ـ آذرآواری به سن ائوسن با ترکیب اسیدی تا حدواسط هستند که گدازه‌ها ترکیب آندزیت و لاتیت دارند و واحدهای آذرآواری شامل توف ریوداسیتی، توف سنگی آندزیتی و ایگنیمبریت هستند. این واحدها با روند حدودی شمال‌شرقی – جنوب‌غربی در شرق و شمال‌شرقی منطقه برونزد دارند (شکل ۲). در بین واحدهای آتشفشانی و آذرآواری، واحد آندزیتی و توف سنگی آندزیتی با کمترین گسترش در بخش جنوب‌شرقی منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). واحد توف سنگی آندزیتی در دید صحرایی به رنگ روشن با زمینه سبز بوده که رنگ روشن آن مربوط به قطعه های آرژیلی رسی، و رنگ سبز آن ناشی از دگرسانی کلریتی در زمینه سنگ است (شکل ۳ الف). از دیگر واحدهای آتشفشانی در منطقه مورد بررسی می‌توان به واحد لاتیتی اشاره کرد. این واحد سنگ‌شناسی در صحرا به رنگ خاکستری تیره و بیشتر به صورت خرد شده و هوازده است (شکل ۳ ب) و در شرق و شمال‌شرق منطقه رخنمون دارد (شکل۲). واحدهای آتشفشانی بیشتر بافت پورفیری با زمینه دانه‌متوسط تا دانه‌ریز دارند، و درشت بلورهای آن پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی و گاهی پیروکسن هستند. بیشترین گسترش واحدهای آذرآواری در منطقه مورد بررسی مربوط به واحدهای ایگنیمبریتی و توف-های ریوداسیتی است. این واحدها در شرق، مرکز و شمال منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). واحد ایگنیمبریتی به دلیل سیلیسی بودن صخره ساز است و در نمونه دستی به رنگ بنفش تیره و قهوه‌ای روشن دیده می‌شود. این واحد دارای بافت پرلیتی و رگچه‌های ریز سیلیسی به صورت لامیناسیون‌های ناپیوسته و کانی‌های کدر و بیشتر دستخوش دگرسانی کلریتی و سیلیسی شده است (شکل ۳ پ). واحد توفی ترکیب ریوداسیتی دارد، بیشتر دچار دگرسانی کلریتی، آرژیلی و سیلیسی شده است و در جنوب‌شرقی منطقه مورد بررسی بیشترین رخنمون را دارد (شکل ۳ ت). این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه‌ای از سیلیس است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ـ کانی‌سازی منطقه مورد بررسی.



شکل۳ تصاویری از واحدهای سنگی در رخداد معدنی فدیهه: الف) واحد آندزیتی تیره رنگ و واحد توف سنگی آندزیتی با رنگ روشن (دید به سمت شمال‌شرقی)، ب) واحد لاتیت (دید به سمت شرق)، پ) واحد ایگنیمبریتی (دید به سمت جنوب‌شرقی)، ت) رخنمونی از واحد توف ریوداسیت (دید به سمت شمال)، ث) دورنمایی از نفوذ دایک پیروکسن دیوریتی تیره رنگ در واحد هورنبلند مونزوگرانیت (دید به سمت شمال-غربی)، ج) رخنمون واحد سینوگرانیت، چ) رخنمون واحد پیروکسن دیوریت و ح) نمایی از مرز واحد پیروکسن دیوریت پورفیری و واحد توف ریو داسیتی (دید به سمت شمال).

توده‌های نفوذی به عنوان میزبان اصلی کانی‌سازی در مرکز، غرب و شمال غربی منطقه مورد بررسی بیشترین گسترش و در بخش جنوب شرقی منطقه گسترش به نسبت محدودتری دارند (شکل ۲). توده‌های نفوذی شامل هورنبلند مونزوگرانیت، سینوگرانیت، پیروکسن دیوریت پورفیری و کوارتزمونزونیت پورفیری هستند. افزون بر این، یک واحد پیروکسن دیوریت پورفیری به صورت دایک با روند NW، طول تقریبی ۲۰متر و عرض ۳ متر در جنوبغربی منطقه رخنمون دارد (شکل ۲) که در واحد هورنبلند مونزوگرانیت نفوذ کرده (شکل ۳ ث) و در بازدیدهای صحرایی به رنگ تیره است.

واحد هورنبلند مونزوگرانیت گسترده‌ترین رخنمون توده نفوذی را در منطقه دارد. بافت آن دانه‌ای است و کانی‌های اصلی کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و کانی‌های مافیک هورنبلند و به مقدار کمتر بیوتیت هستند. این واحد میزبان رگه و رگچه‌های برشی شده است. واحد سینوگرانیتی در مقایسه با دیگر توده‌های نفوذی رخنمون محدودتری دارد و در دید صحرایی به رنگ روشن است (شکل ۳ ج). بافت آن دانه‌ای و نگاشتاری است و کانی‌های اصلی آن کوارتز، ارتوکلاز و پلاژیوکلاز هستند. واحد پیروکسن دیوریت پورفیری و کوارتز مونزونیت پورفیری بیشتر در بخش مرکزی منطقه رخنمون دارند و میزان اصلی رگه ـ رگچه‌های کانی‌سازی هستند. واحد پیروکسن دیوریت پورفیری دارای بافت پورفیری و گلومروپورفیری بوده و کانی اصلی آن پلاژیوکلاز است که تا ۱۰ درصد به کلریت و ۱ تا ۵ درصد به اپیدوت تبدیل شده است. مهترین کانی مافیک پیروکسن است که ۱ تا ۵ درصد سنگ را شامل می‌شود و بیشتر به کلریت تبدیل شده است (شکل ۳ چ). واحد پیروکسن دیوریت پورفیری در بخش جنوب‌شرقی در واحد توف ریوداسیتی نفوذ کرده و مرز آن‌ها نسبت به هم به صورت تدریجی است (شکل ۳ ح). زمینه سنگ در واحد کوارتز مونزونیت پورفیری ۲۵ تا ۳۰ درصد و بیشتر شامل کانی‌های کوارتز و فلدسپات شامل است و درشت بلورها ۶۰ تا ۶۵ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند. مهترین درشت بلور پلاژیوکلاز بوده که ۱۰ تا ۱۵ درصد به کلریت تبدیل شده است.

به طور کلی، دگرسانی توده‌های نفوذی بیشتر پروپلیتی ـ سیلیسی و به صورت محدود آرژیلی است. در بین توده‌های نفوذی، واحد سینوگرانیتی دچار تاثیر دگرسانی ویژه‌ای نشده است.

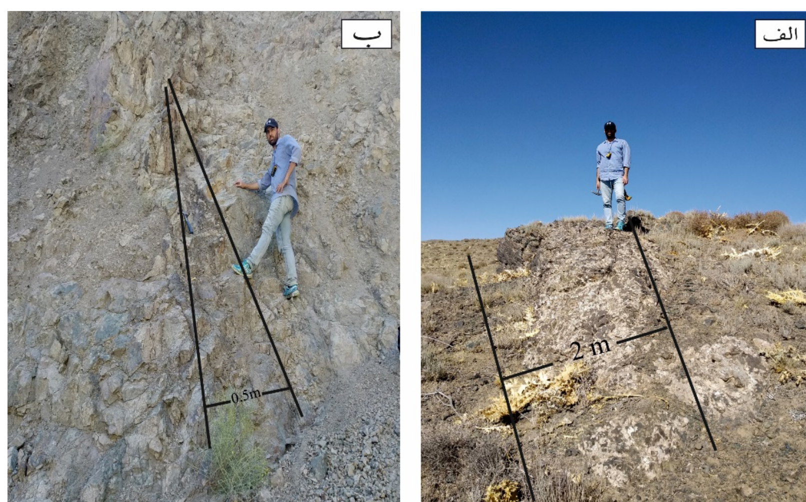
کانی سازی

کانی‌سازی در رخداد معدنی فدیهه کنترل ساختاری دارد و در سنگ میزبان پیروکسن دیوریت‌پورفیری، کوارتز مونزونیت-پورفیری و هورنبلند مونزوگرانیت تشکیل شده است. روند گسل‌های منطقه بیشتر شمال‌شرق ـ جنوب‌غرب و به صورت محدود شمال‌غرب ـ جنوب‌شرق است. کانی‌سازی در قالب دو نوع رگه اصلی قابل تفکیک است. ۱) رگه‌های کوارتز± اسپیکیولاریت± کالکوپیریت±گالن با روند N30-45E و N10-15W بیشتر در اثر فضاهای بازشدگی شکل گرفته‌اند، که دارای طول ۲ تا ۲۵ متر، پهنای ۰٫۲ تا ۲ متر و شیب ۶۰ تا ۸۵ درجه با راستای شیب متفاوت هستند (شکل ۴ الف). ۲) رگه-های کوارتز+ اسپیکیولاریت ± پیریت با روند N10-15W و N30-45E ارتباط تنگاتنگی با رخداد برشی شدن ناشی از گسل‌های راستالغز جداشده از گسل درونه دارند. این رگه‌ها دارای طول ۲ تا ۱۰ متر، پهنای ۰٫۵ تا ۱٫۵متر و شیب ۶۰ تا ۹۰ درجه با راستای شیب متفاوت هستند (شکل ۴ ب). کانی-شناسی پهنه‌های دگرسانی همراه با رگه کلریتی و سیلیسی است. کانی‌سازی بیشتر به صورت رگه ـ رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، برشی شدن، جانشینی ثانویه و پراکنده دیده می-شود. کانی‌های اولیه اسپکیولاریت، کالکوپیریت، پیریت و گالن و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کالکوزیت، کوولیت، گوتیت، هماتیت، لیمونیت و به مقدار کمتر آزوریت و کریزوکلا هستند. کانی‌های غیر فلزی شامل کوارتز، کلریت و سیدریت هستند.

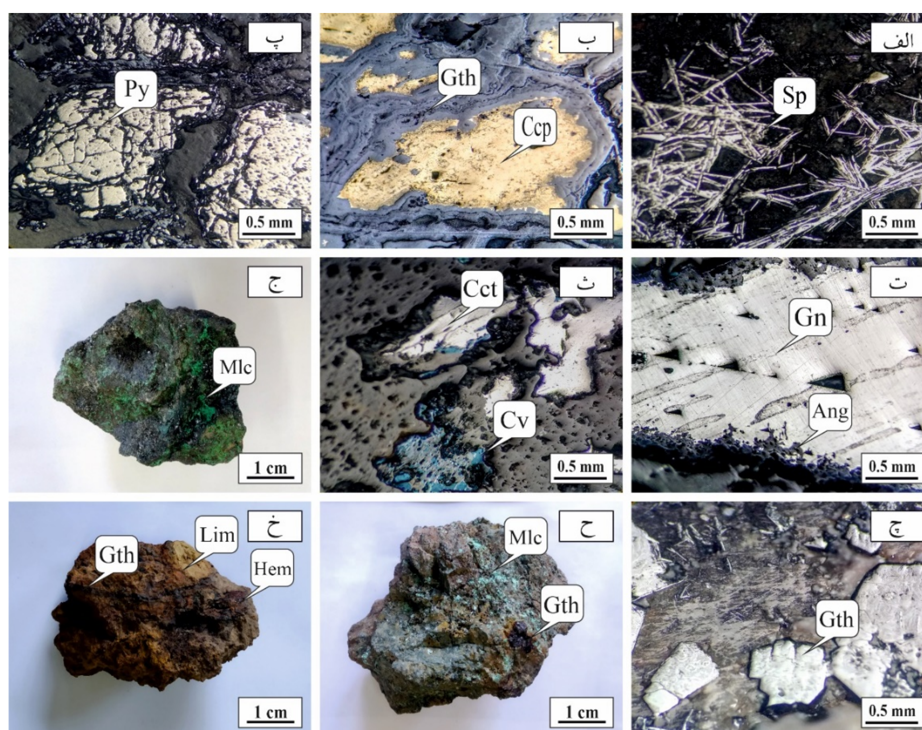
کانی‌شناسی ماده معدنی

اسپیکیولاریت: این کانی فراوانترین کانی در رخدادمعدنی فدیهه است که به صورت رگه و رگچه‌ای، سیمان برشی، قطعه‌های برش و به مقدار کمتر به صورت پراکنده دیده می‌شود. اسپیکیولاریت در قالب رگچه کوارتز+ اسپیکیولاریت± پیریت و رگچه کوارتز + اسپیکیولاریت ± کالکوپیریت ± گالن حضور دارد. در این رگچه‌ها، سهم کانی اسپیکولاریت بین ۴۰ تا ۶۵ درصد رگچه متغیر است. اسپیکیولاریت بیشتر به صورت تیغه-ای یا سوزنی شکل دیده می‌شود (شکل ۵ الف).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]



شکل۴ تصاویری از رگه‌های اصلی کانی‌سازی در رخداد معدنی فدیهه: الف) رگه کوارتز+ اسپکیولاریت+کالکوپیریت همرا با مالاکیتی‌شدن در درزه و شکستگی‌های رگه کانه: که در اثر فرآیندهای سطحی و اکسایش کالکوپیریت ایجاد شده است (دید به سمت جنوب‌غربی)، ب) رگه کوارتز+ اسپیکیولاریت± پیریت ناشی از رخداد برشی شدن (دید به سمت جنوب‌غربی).



شکل۵ تصاویر میکروسکوپی و ماکروسکوپی از کانی‌سازی در رخداد معدنی فدیهه: الف) اسپیکیولاریت به صورت تیغه‌ای شکل، (در نور قطبیده متقاطع XPL) ، ب) کالکوپیریت در حال تبدیل شدن به گوتیت، (در نور XPL ، پ) پیریت مربوط به رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت+ پیریت، (درنور Xpl) ، ت) گالن با رخ مثلثی شکل، که از اطراف در حال تبدیل شدن به آنگلزیت است، (درنور XPL) ، ث) کالکوزیت که در نتیجه جانشینی کالکوپیریت ایجاد شده از اطراف در حال تبدیل شدن به کوولیت است، (در نور XPL) ، ج) آثار کانی‌سازی مالاکیت در نمونه خرده سنگی از رگچه‌های کوارتز+اسپیکیولاریت+ کالکوپیریت، مالاکیت در نتیجه جانشینی کالکوپیریت. چ) گوتیت که در نتیجه جانشینی ثانویه پیریت ایجاد شده است، (درنور XPL) ، ح) نمونه خرده سنگی با آثار سطحی کانی‌سازی اکسیدی مالاکیت و گوتیت ناشی از اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه و خ) نمونه خرده سنگی از پهنه گوسان کانی‌سازی شامل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن: (Sp : اسپیکیولاریت، Ccp : کالکوپیریت، py : پیریت Gn : گالن، Cct : کالکوزیت، Cv : کوولیت Gth : گوتیت، Mlc : مالاکیت، Hem : هماتیت، Lim : لیمونیت، [۲۶]).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

کالکوپیریت: کالکوپیریت تنها کانی سولفیدی مس‌دار اولیه است که به صورت رگچه و بافت پرکننده فضای خالی در رگه‌های کانی‌سازی دیده می‌شود و گاهی مقدار آن تا حد حالت توده‌ای افزایش می‌یابد. کالکوپیریت‌ها بیشتر بی شکل تا نیمه شکل‌دار هستند و حدود ۲۵ تا ۳۵ در صد حجم کانی‌سازی را تشکیل می‌دهند. این کانی اغلب از لبه به کانی‌های کالکوزیت، کوولیت، گوتیت و مالاکیت تبدیل شده است (شکل ۵ ب).

پیریت: پیریت دومین کانی سولفیدی فراوان در منطقه است که اغلب به صورت پراکنده در سنگ میزبان و رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت±پیریت دیده می‌شود. این کانی ۵ تا ۸ درصد حجم کانی سازی را تشکیل می‌دهد. پیریت‌ها بیشتر به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هستند. این کانی در سطح به مقدار ۶۰ تا ۱۰۰ درصد به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۵ پ).

گالن: گالن دیگر کانی سولفیدی اولیه در منطقه است. این کانی اغلب در رگچه کوارتز+ اسپیکیولاریت±کالکوپیریت±گالن دیده شده و کمتر از ۵ درصد حجم کانی‌سازی را تشکیل می‌دهد. این کانی بیشتر از لبه به آنگلزیت تبدیل شده است (شکل ۵ ت).

کالکوزیت وکوولیت: کالکوزیت و کوولیت با بافت جانشینی ثانویه از تبدیل کانی کالکوپیریت به وجود آمده‌اند. کالکوزیت و کوولیت کمتر از ۳ درصد حجم کانی‌سازی را تشکیل می‌دهند. جانشینی کالکوزیت و کوولیت به جای کالکوپیریت بیشتر مربوط به رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت+ کالکوپیریت است (شکل ۵ ث).

مالاکیت: مالاکیت فراوان‌ترین کانی ثانویه مس در منطقه است. براساس بازدیدهای صحرایی، این کانی به صورت رگچه‌ای و آغشتگی در درزه و شکستگی‌های رگه‌های کانه‌دار حضور دارد (شکل ۵ ج). مالاکیت ۳۰ تا ۳۵ درصد حجم رگه‌های کانه‌دار را شامل می‌شود و از تبدیل کالکوپیریت‌ها شکل گرفته است. جانشینی مالاکیت به جای کالکوپیریت بیشتر مربوط به رگچه-های کوارتز+ کالکوپیریت است.

آزوریت وکریزوکولا: کریزوکولا همراه با آزوریت به مقدار ناچیز و کمتر از ۲ درصد در رگچه‌ها وجود دارد.

اکسیدهای آهن : اکسیدهای آهن ثانویه شامل گوتیت، هماتیت و لیمونیت برآمده از تبدیل کانی‌های سولفیدی منطقه هستند. گوتیت پس از مالاکیت فراوانترین کانی ثانویه در منطقه است (شکل ۵ چ). این کانی ۱۵ تا ۲۰در صد حجم رگچه‌های کانه-دار و ۳۰ تا ۳۵ درصد پهنه گوسان منطقه را شامل می‌شود. گوتیت به صورت پراکنده و رگچه‌ای از تبدیل کالکوپیریت و پیریت ایجاد شده است (شکل‌های ۵ چ، ح). هماتیت و لیمونیت ۸ تا ۱۰ درصد پهنه گوسان را شامل می‌شوند (شکل ۵ خ).

ساخت و بافت

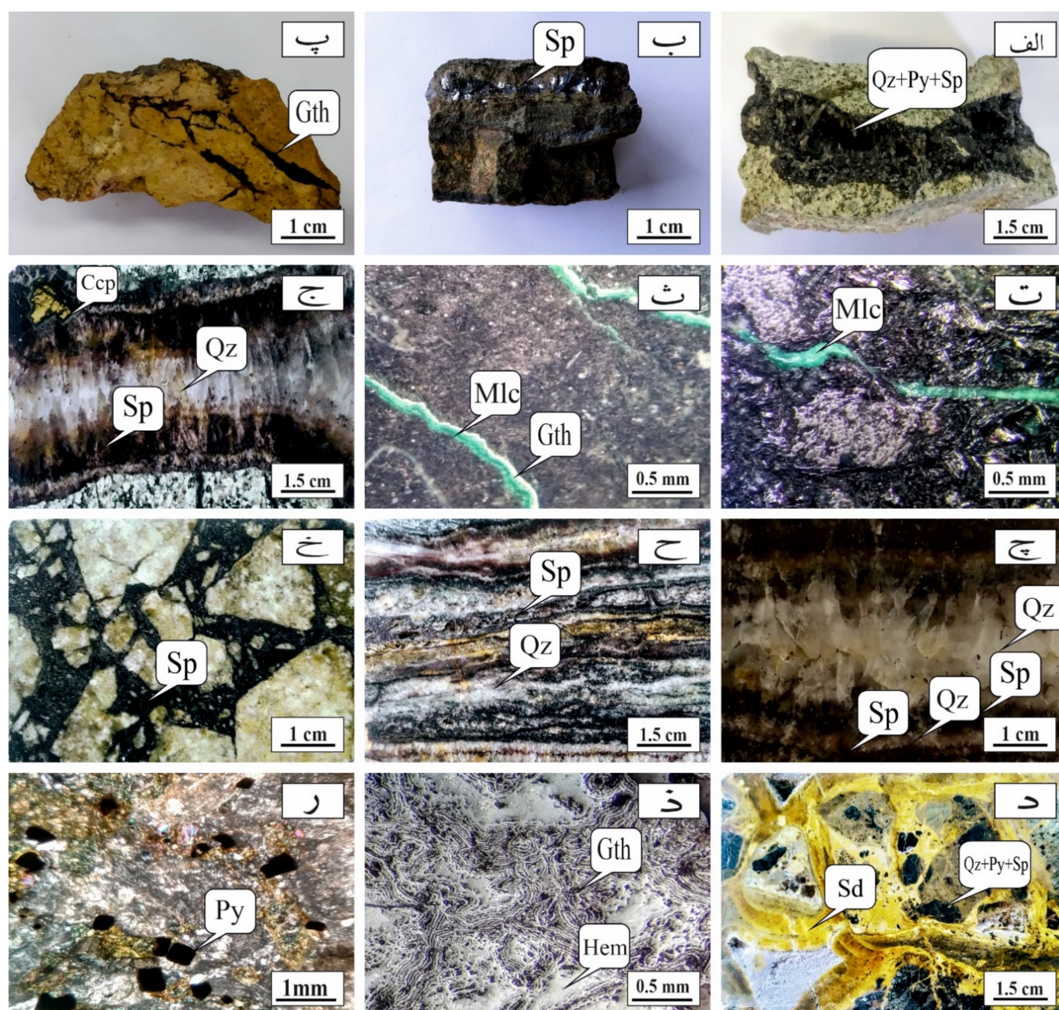
کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی در قالب ساخت و بافت‌های رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، برشی، جانشینی ثانویه، گل کلمی و به مقدار کمتر پراکنده دیده می‌شود. در ادامه ساخت و بافت‌های مهم بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی توصیف می‌شوند.

رگچه‌ای: ساخت و بافت رگچه‌ای مهمترین و فراوان‌ترین حالت کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی است. ضخامت رگچه‌ها از ۰/۱ میلی‌متر تا کمتر از ۱۰ سانتیمتر متغیر است. براساس ترکیب کانی‌شناسی اولیه و ثانویه، تعداد ۹ نوع رگچه در منطقه دیده‌اند که مهمترین آنها عبارتند از کوارتز + اسپیکیولاریت + پیریت (شکل ۶ الف)، اسپیکیولاریت (شکل ۶ ب)، گوتیت (شکل ۶ پ)، مالاکیت (شکل ۶ ت)، مالاکیت+گوتیت (شکل ۶ ث)، کوارتز+اسپیکیولاریت+کالکوپیریت (شکل ۶ ج)، کوارتز+ اسپیکیولاریت (شکل ۶ چ)، کوارتز+ کالکوپیریت، کوارتز+ اسپیکیولاریت+کالکوپیریت+گالن. در این بین، رگچه کوارتز+ کالکوپیریت، کوارتز+ اسپیکیولاریت، کوارتز+ اسپیکیولاریت +پیریت و کوارتز+ اسپیکیولاریت+کالکوپیریت از فراوانترین رگچه‌ها هستند. رگچه‌های مالاکیت، گوتیت و مالاکیت+گوتیت مربوط به جانشینی کانی‌های سولفیدی اولیه هستند.

پرکننده فضای خالی: این نوع بافت در کانسارهای با کنترل ساختاری، بسیار معمول است. این بافت اغلب با تقارن کانی‌ها در دو سمت رگچه مشخص می‌شود که بیشتر با قرارگرفتن کانی اسپیکیولاریت در دو طرف رگچه و کوارتز درشت دانه در مرکز یادآور حالت شانه‌ای است (شکل ۶ چ). همچنین این نوع بافت به مقدار کمتر به صورت لایه ـ لایه و به اصطلاح نواری دیده می‌شود (شکل ۶ ح).

برشی: این نوع ساخت و بافت بیشتر مربوط به برشی شدن در رگه‌های کانه‌دار واقع در پهنه گسلی است و در دو نسل دیده می‌شود. برش نسل اول شامل قطعه های از جنس سنگ میزبان هورنبلند مونزوگرانیت به صورت زاویه‌دار و دگرسان شده با سیمانی از جنس اسپیکیولاریت است. در این نوع برش، مقدار

قطعه‌های ۶۵ تا ۷۰ درصد و سیمان ۳۰ تا ۳۵ درصد است. اندازه‌ی قطعه‌های از یک میلی‌متر تا کمتر از ۵ سانتی‌متر متغیر است و بیشتر دچار دگرسانی پروپلیتی شده‌اند. به نظر می‌رسد که این برش‌ها از نوع گسلی باشند، به طوری که بر اثر فعالیت زمین‌ساختی، سنگ میزبان برشی شده و سپس محلول غنی از اسپیکیولاریت بین قطعه‌ها را پرکرده است (شکل ۶ خ). برش نسل دوم مربوط به مراحل پایانی کانی‌سازی و شامل قطعه‌هایی متفاوت از جنس سنگ میزبان دگرسان شده هورنبلند مونزوگرانیت و کانی‌های کوارتز، اسپیکیولاریت و پیریت با سیمانی سیدریتی است، که قطعه‌های بیشتر به صورت گردشده تا کمی زاویه‌دار هستند. در این نوع برش، مقدار قطعه‌های ۵۵ تا ۶۰ درصد و سیمان ۴۰ تا ۴۵ درصد است. اندازه‌ی قطعه‌ها از یک میلی‌متر تا کمتر از ۳/۵ سانتی‌متر متغیر بوده و نوع برش گسلی است (شکل ۶ د).



شکل۶ تصاویری از انواع ساخت و بافت کانی‌سازی در رخداد معدنی فدیهه: الف) رگچه کوارتز+ اسپیکیولاریت+ پیریت در سنگ میزبان هورنبلند مونزوگرانیت، ب) رگچه اسپیکیولاریت در سنگ میزبان کلریتی شده، پ) رگچه گوتیتی ناشی از اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه، ت) رگچه مالاکیتی ناشی از جانشینی کالکوپیریت، (درنور XPL) ، ث) رگچه مالاکیتی ـ گوتیت ناشی از جانشینی کالکوپیریت، (درنور XPL) ، ج) نمونه دستی مربوط به رگچه کوارتز+ اسپیکیولاریت+ کالکوپیریت با ساخت پرکننده فضای خالی، چ) نمونه دستی مربوط به رگچه کوارتز + اسپیکیولاریت با ساخت پرکننده فضای خالی به صورت متقارن، که کوارتز در مرکز رگچه یادآور بافت شانه‌ای است، ح)رگچه کوارتز + اسپیکیولاریت با ساخت نواری، خ) ساخت برشی با سیمان اسپیکیولاریت در سنگ میزبان هورنبلند مونزو گرانیت، د) ساخت برشی با سیمان سیدریتی و قطع هایی از جنس کوارتز، اسپیکیولاریت، پیریت و سنگ میزبان دگرسان شده، ذ) گوتیت با بافت گل کلمی، (درنور XPL) و ر) پیریت با بافت پراکنده در سنگ میزبان پیروکسن دیوریت پورفیری، (درنور XPL) . Qz : کوارتز، Sp : اسپیکیولاریت، Ccp : کالکوپیریت، py : پیریت، Sd : سیدریت، Gth : گوتیت، Mlc : مالاکیت، Hem : هماتیت، [۲۶].

جانشینی ثانویه: مهمترین کانی نشانگر بافت جانشینی ثانویه، گوتیت است. این کانی که نخستین فراورده هوازدگی کانی‌های سولفیدی بوده، بیشتر به صورت جانشینی از تبدیل کالکوپیریت و پیریت ناشی شده است. جانشینی کالکوپیریت با گوتیت بیشتر مربوط به رگچه‌های کوارتز+ کالکوپیریت است که در این نوع رگچه، کالکوپیریت گاهی از لبه ۶۰ تا ۶۵ درصد به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۶ ب). همچنین فرایند جانشینی ثانویه در کانی کالکوپیریت عامل ایجاد کالکوزیت است. تبدیل کالکوپیریت به کالکوزیت به طور کامل انجام شده است، و آثاری از کانی کالکوپیریت دیده نمی‌شود. این نوع جانشینی مربوط به رگچه‌های کوارتز +اسپیکیولاریت +کالکوپیریت است. کانی کالکوزیت که تنها ۱ تا ۳ درصد حجم این نوع رگچه‌ها را شامل می‌شود، از اطراف به کوولیت تبدیل شده است (شکل ۶ ث).

گل کلمی: پیریت‌ها بیشتر به گوتیت و هماتیت تبدیل شد، و باعث ایجاد بافت گل کلمی شده‌اند. حضور این بافت در ذخایر معدنی نشانگر دمای کم محلول گرمابی است. این نوع بافت مربوط به نواحی گوسان کانی‌سازی است که پیریت‌ها به طورکامل و به شکل گل کلم به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۶ ذ).

پراکنده: این بافت در لبه رگه‌ها، توده‌های میزبان کانی‌سازی و به مقدار کمتر در واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود. بافت دانه پراکنده بیشتر مربوط به کانی‌های سولفیدی اولیه پیریت و کالکوپیریت است که اغلب به گوتیت تبدیل شده اند. در توده‌های نفوذی میزبان رگه‌های کانه‌دار، پیریت ۵ تا ۱۵درصد و کالکوپیریت ۲ تا ۵ درصد به صورت پراکنده دیده می‌شود. پیریت با بافت پراکنده اغلب مربوط به واحد پیروکسن دیوریت پورفیری بوده (شکل ۶ ر) و گاهی در واحدهای آتشفشانی نیز قابل مشاهده است. همچنین کالکوپیریت به صورت دانه پراکنده در واحد پیروکسن دیوریت پورفیری و هورنبلند مونزو گرانیت دیده می‌شود.

توالی همبرزایی

توالی همبرزایی در رخداد معدنی فدیهه به دو بخش پهنه درونزاد و پهنه برونزاد یا اکسیدی تقسیم می‌شود. در مرحله درونزاد، نخست محلول‌های کانه‌دار از راه فضاها و شکستگی‌های ایجاد شده توسط گسل‌ها به سمت سطح حرکت کرده و درسنگ میزبان سبب کانی‌سازی اسپیکیولاریت، کالکوپیریت، پیریت و گالن به صورت رگه ـ رگچه‌ای شده‌اند. افزون بر این، در اثر گسل‌های راستالغز جداشده از گسل درونه رخداد برشی شدن طی دو مرحله رخ داده است. در مرحله نخست، سنگ میزبان برشی شده و سپس محلول غنی از اسپیکیولاریت بین قطعه‌ها را پرکرده است. در مرحله دوم که از مراحل پایانی کانی‌سازی درونزاد بوده، فضای بین قطعه‌های از جنس سنگ میزبان دگرسان شده و کانی‌های کوارتز، اسپیکیولاریت و پیریت با سیمانی سیدریتی و کم دولومیتی پرشده است. پس از کانه‌زایی درونزاد، اثر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی به صورت اکسایش و واکنش‌های شیمیایی در سطح باعث تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه از جمله کالکوزیت، کوولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت، لیمونیت) و کربنات‌های مس چون مالاکیت و آزوریت شده است (شکل ۷).

دگرسانی

دگرسانی در منطقه مورد بررسی شامل بخش لبه‌ای و همراه با رگه و نیز بخش ناحیه‌ای است. کانی‌شناسی پهنه‌های دگرسانی همراه با رگه کلریتی و سیلیسی است. دگرسانی ناحیه‌ای که مربوط به واحدهای آذرین منطقه شامل توده‌های نفوذی میزبان رگه‌های کانه‌دار و واحدهای آتشفشانی و آذرآواری بوده، بیشتر پروپیلیتی، سیلیسی، کلریتی و آرژیلی است (شکل ۸). دگرسانی پروپیلیتی مربوط به توده‌های نفوذی میزبان رگه‌های کانه‌دار بوده، و دگرسانی‌های کلریتی و آرژیلی بیشتر بر واحدهای آتشفشانی و آذرآواری را اثر داشته است (شکل ۸).

دگرسانی همراه با رگه‌ها

سیلیسی: کوارتز مهترین و فراوانترین کانی باطله همرا با کانی‌سازی دررخداد معدنی فدیهه است که در قالب رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت، کوارتز+ اسپیکیولاریت +پیریت، کوارتز+ کالکوپیریت، کوارتز+اسپیکیولاریت+کالکوپیریت و کوارتز+اسپیکیولاریت+کالکوپیریت+گالن دیده می‌شود. بیشترین مقادیر کوارتز مربوط به رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت بوده که فراوانی آن ۵۰ تا ۶۵ درصد است .کوارتز درشت بلور با اندازه تا ۰/۱ سانتی‌متر در رگچه‌های کوارتز+ اسپیکیولاریت و کوارتز+اسپیکیولاریت+کالکوپیریت که گاهی بافت پرکننده فضای خالی متقارن دارند اغلب در مرکز رگچه‌ها رشد کرده است (شکل ۹ الف).کمترین مقادیر کوارتز مربوط به رگچه‌های کوارتز+ کالکوپیریت است که مقدار آن ۲۵ تا ۳۰ درصد رگچه‌ها را شامل می‌شود.

کلریتی: در برخی پهنه‌های کانی‌سازی، کلریت در درون رگه و رگچه‌ها یافت می‌شود و این نمودی از ارتباط نزدیک دگرسانی کلریتی با کانی‌سازی است. بیشترین مقدار کلریت مربوط به نفوذ محلول‌های دربردارنده کلریت در رگچه کوارتز+

کالکوپیریت بوده که مقدار آن در این نوع رگچه گاهی ۴۰ تا ۴۵ درصد حجمی است (شکل ۹ ب). همچنین در لبه رگه ـ رگچه‌ها، کلریت جانشین پلاژیوکلاز و پیروکسن شده که مقدار این جانشینی از ۶۵ تا ۱۰۰ در صد متغیر است.

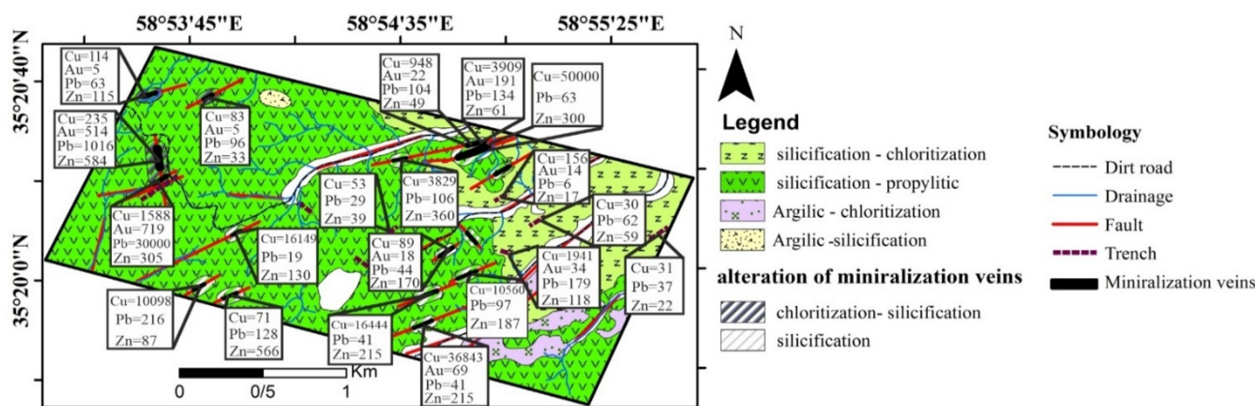
دگرسانی واحدهای آذرین منطقه

پروپیلیتی: دگرسانی پروپیلیتی گسترده‌ترین نوع دگرسانی در منطقه است و در بخش‌های گسترده‌ای از مرکز، شمال و غرب و به صورت محدود در جنوب شرق دیده می‌شود (شکل۸). این نوع دگرسانی بر واحدهای هورنبلند مونزوگرانیت، پیروکسن دیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری را اثر داشته است. شدت این نوع دگرسانی در واحد پیروکسن دیوریت پورفیری بیشتر است. مهمترین کانی‌های مربوط به دگرسانی پروپیلیتی کلریت، اپیدوت و به مقدار کمترکلسیت است. در این نوع دگرسانی، کلریت و اپیدوت به صورت جانشینی پلاژیوکلاز و پیروکسن دیده می‌شوند. کلریت ۱۰ تا ۱۰۰ در صد و اپیدوت ۱ تا ۱۰ درصد جانشین پلاژیوکلاز شده است. کانی‌های مافیک شامل پیروکسن و هورنبلند ۵ تا ۷۰ درصد به اپیدوت و کمتر از ۱۰ درصد به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۹ پ). همچنین کلسیت ۳ تا ۱۰ درصد جانشین پلاژیوکلاز شده است.

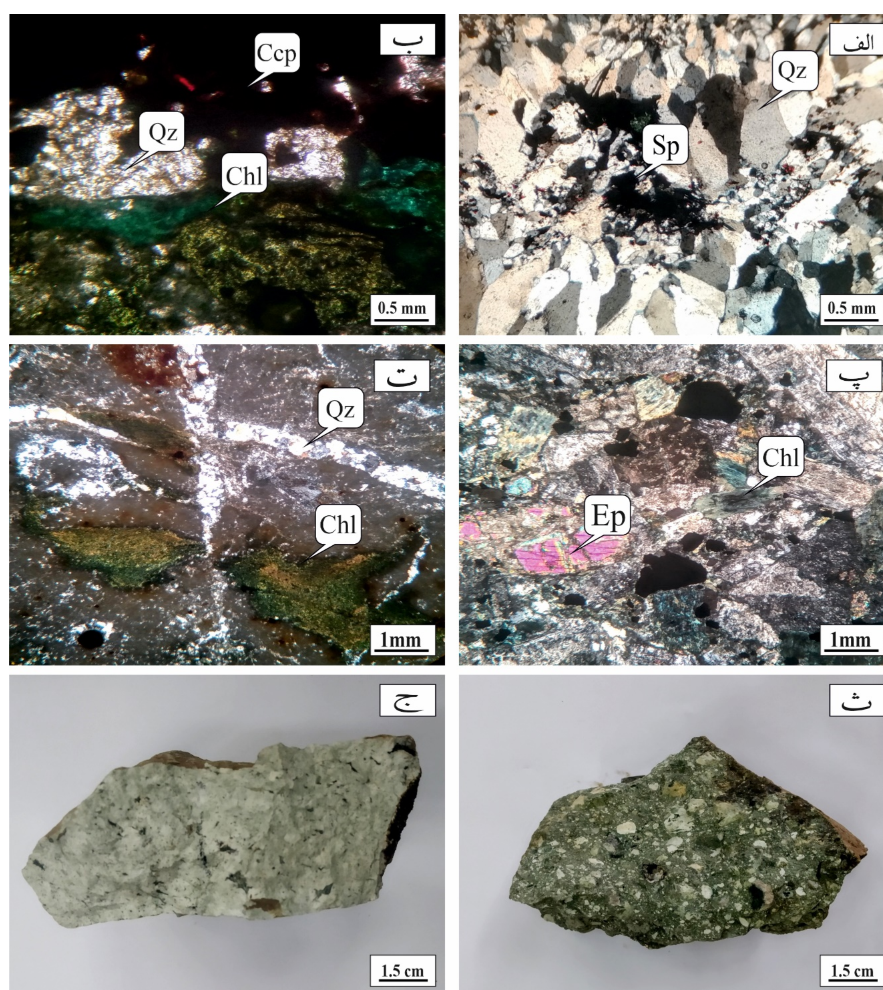
Mineral | Hypogene mineralization (Early → Late) | Supergene and oxidized mineralization

Specularite
Quartz
Chalcopyrite
Pyrite
Galena
Chlorite
Siderite
Dolomite
Malachite
Goethite
Hematite
Azurite
Chrysocolla
Chalcosite
Covellit
Anglesite

شکل۷ توالی همبرزایی در رخداد معدنی فدیهه



شکل۸ موقعیت و نتایج تجزیه نمونه‌های خرده سنگی منطقه مورد بررسی بر نقشه دگرسانی ـ کانی‌سازی(عیار عناصر مس، سرب و روی برحسب ppm و طلا بر حسبppb است.)



شکل۹ تصاویری از انواع دگرسانی در رگه های کانه‌دار و واحدهای آذرین منطقه: الف) کوارتز درشت بلور با اندازه تا ۰/۱ سانتی‌متر درقالب رگچه کوارتز+ اسپیکیولاریت مربوط به دگرسانی سیلیسی شدن در رگه ـ رگچه‌های کانه دار، (نور XPL)، ب) دگرسانی کلریتی همراه با کانی‌سازی دررگچه کوارتز+کالکوپیریت، (درنور قطبیده صفحه ای ppl) ، پ) جانشینی کلریت به جای پلاژیوکلاز و اپیدوت به جای پیروکسن مربوط به دگرسانی پروپیلیتی درواحد پیروکسن دیوریت پورفیری، (نورXPL)، ت) رگچه سیلیسی به ضخامت ۰/۵ میلی‌متر وکلریتی شدن در واحد توف ریو داسیتی، (نورXPL)، ث) نمونه دستی واحد توف سنگی آندزیتی، که زمینه به رنگ سبز دگرسانی کلریتی و قطعه های سفید رنگ دگرسانی آرژیلی را نشان می‌دهد و ج) نمونه دستی واحد توف ریوداسیتی با دگرسانی آرژیلی. Qz : کوارتز، Sp: اسپیکیولاریت، Ccp : کالکوپیریت، Ep : اپیدوت و Chl : کلریت [۲۶].

سیلیسی: این نوع دگرسانی بر بخش گسترده‌ای از منطقه شامل توده‌های نفوذی، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری اثر داشته است. دگرسانی سیلیسی در شمال‌غرب منطقه مورد بررسی (شکل۸)، در بخش محدودی به طور گسترده در متن سنگ دیده می‌شود، که فراوانی کوارتز ثانویه ۳۰ تا ۳۵ درصد حجم سنگ را شامل می‌شود. در واحدهای‌آذر آواری به ویژه توف‌های ریوداسیتی، کوارتز ثانویه به صورت رگچه‌ای با ضخامت کمتر از ۰/۵ میلی‌متر وجود دارد (شکل ۹ ت). همچنین کوارتز گاهی به صورت پرکننده حفره‌ها دیده می‌شود.

کلریتی: دگرسانی کلریتی بیشتر در شرق و شمال‌شرق منطقه مورد بررسی دیده می‌شود و مربوط به واحدهای آتشفشانی و آذر آواری است (شکل۸). در واحدهای آتشفشانی آندزیتی و لاتیتی، جانشینی کلریت به جای پلاژیوکلاز از مرکز ۵ تا ۴۰ درصد انجام شده، همچنین پیروکسن تا گاهی ۸۰ درصد به کلریت تبدیل شده است. کلریت در واحد توف سنگی آندزیتی به صورت جانشینی بخش اصلی زمینه سنگ را تشکیل می‌دهد و فضای بین قطعه‌های را پرکرده است (شکل ۹ ث). جانشینی

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

کلریت به صورت رگچه‌ای بیشتر در واحد توف ریوداسیتی دیده می‌شود و ضخامت این رگچه‌ها در حد ۰/۲ میلی‌متر است.

آرژیلی: دگرسانی آرژیلی کمترین گسترش را نسبت به سایر دگرسانی‌ها در منطقه دارد. این نوع دگرسانی در بین توده‌های نفوذی به صورت محدود در شمال‌غربی منطقه بر واحد هورنبلند مونزوگرانیتی اثر داشته است (شکل۸). در نتیجه این دگرسانی، پلاژیوکلاز کمتر از۳ درصد و فلدسپات قلیایی ۲۵ تا ۳۰ درصد به کانی رسی تبدیل شده است. همچنین دگرسانی آرژیلی با شدت بسیار و با روند شمال‌شرقی ـ جنوب‌غربی در بخش شرقی منطقه در واحد توف ریو داسیتی دیده می‌شود و باعث رنگ سفید در صحرا شده است (شکل ۹ ج).

زمین شیمی

نتایج تجزیه زمین ژئوشیمی نمونه‌های خرده‌سنگی برای عناصر طلا، مس، سرب، روی، نقره و آرسنیک در رخداد معدنی فدیهه در جدول ۱ ارائه شده است. بالاترین عیار مربوط به عنصر مس و بین ۳۰ گرم در تن تا بیش از ۵ درصد است. بیشترین مقدار مس مربوط به رگه کوارتز+اسپپکیولاریت+ کالکوپیریت در شمال منطقه (شکل۸)، در سنگ میزبان پیروکسن دیوریت پورفیری است. مقدار سرب از ۶ گرم درتن تا بیش از ۳ درصد متغیر بوده، و این فراوانی مربوط به کانی گالن است. بیشترین مقدارسرب مربوط به رگچه کوارتز+اسپپکیولاریت+ کالکوپیریت+ گالن در غرب منطقه، در سنگ میزبان هورنبلند مونزوگرانیت است (شکل۸). مس با عیار بیش از ۵ درصد و سرب با عیار بیش از ۳ درصد تنها در یک نمونه دیده شد. همچنین مقدار روی از ۱۷ تا ۵۸۴ گرم در تن متغیر است، اما هیچ کانی مشخصی برای این عنصر در مقاطع صیقلی دیده نشد. مقدار نقره و آرسنیک به نسبت پایین و به ترتیب درگستره ۰/۲ تا ۵۰ و از ۲ تا بیش از ۱۰۰ گرم در تن است. عیارسنجی طلا برای ۱۰ نمونه مقداری ۵ تا ۷۹۱ میلی گرم در تن را نشان می‌دهد. مقادیر بالای طلا مربوط به رگچه‌های کوارتز + اسپیکیولاریت ± پیریت و کوارتز + اسپیکیولاریت± کالکوپیریت است. طلا و مس همبستگی ندارند و از این رو، طلا در ساختار کالکوپیریت حضور ندارد. همچنین در مقاطع بررسی شده، دانه طلای آزاد دیده نشد، از این رو یا طلا در ساختار کانی پیریت است و یا به صورت دانه آزاد وجود داشته باشد که دیدن آن نیاز به مطالعه مقاطع صیقلی بیشتر دارد.

جدول ۱ نتایج تجزیه زمین شیمی نمونه های خرده‌سنگی برای عناصر طلا، مس، سرب ، روی، نقره و آرسنیک در رخداد معدنی فدیهه.

شماره	عرض	طول	Au(ppb)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)
CH8	۳۵ ° ۱۹ ´ ۵۶.۱۱″	۵۸ ° ۵۴ ۴۱/۶۳″	۶۹	۱۶۴۴۴	۴۱	۲۱۵	۱	۴.۱
CH14	۳۵ ° ۱۹ ´ ۵۰.۹″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۴۰.۱۰″		۳۶۸۴۳	۶۰	۲۵۵	۶.۱	۴.۹
CH19	۳۵ ° ۱۹ ´ ۵۹.۲۸″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۴۸.۳۹″	۱۸	۱۰۵۶۰	۹۷	۱۸۷	۱.۴	۲۳.۶
CH22	۳۵ ° ۲۰ ´ ۴.۶۸″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۴۵.۲۳″		۸۹	۴۴	۱۷۰	۰.۷	۲.۵
CH24	۳۵ ° ۲۰ ´ ۸.۳۶″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۴۸.۵۷″	۳۴	۳۸۲۹	۱۰۶	۳۶۰	۱	۳.۶
CH28	۳۵ ° ۲۰ ´ ۴.۳۳″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۵۷.۵۴″		۱۹۴۱	۱۷۹	۱۱۸	۱.۸	۵
CH32	۳۵ ° ۲۰ ´ ۹.۹۳″	۵۸ ° ۵۵ ´ ۶.۵۹″	۱۴	۳۰	۶۰	۵۹	۱.۸	۴.۸
CH36	۳۵ ° ۲۰ ´ ۱۴.۹۹″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۵۸.۲۳″		۱۵۶	۶	۱۷	۱	۴.۷
CH37	۳۵ ° ۲۰ ´ ۸.۴۰″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۳۱.۵۸″	۲۲	۵۳	۲۹	۳۹	۰.۲	۹.۳
CH41	۳۵ ° ۲۰ ´ ۲۵.۸۱″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۵۱.۲۴″	۱۹۱	۹۴۸	۱۰۴	۴۹	۱.۴	۱۱.۳
CH42	۳۵ ° ۲۰ ´ ۲۵.۲۷″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۵۲.۶۹″		۳۹۰۹	۱۳۴	۶۱	۲	۳۱.۶
CH43	۳۵ ° ۲۰ ´ ۲۴.۷۶″	۵۸ ° ۵۴ ´ ۵۳.۹۹″	۵۱۴	۵۰۰۰۰	۶۳	۳۰۰	۷.۹	۱۰۰
CH48	۳۵ ° ۲۰ ´ ۲۱.۶۸″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۳۷.۶۷″	۷۱۹	۲۳۵	۱۰۱۶	۵۸۴	۱	۷
CH49	۳۵ ° ۲۰ ´ ۲۱.۶۹″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۳۷.۴۷″		۱۵۸۸	۳۰۰۰۰	۳۰۵	۴۹.۷	۳۰.۹
CH50	۳۵ ° ۱۹ ´ ۵۷.۹۹″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۴۵.۸۷″	۵	۱۰۰۹۸	۲۱۶	۸۷	۴.۵	۶
CH51	۳۵ ° ۲۰ ´ ۳۷.۲۱″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۳۶.۵۶″	۵	۱۱۴	۶۳	۱۱۵	۰.۶	۲
CH52	۳۵ ° ۲۰ ´ ۳۶.۴۹″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۴۹.۸۶″	۶۹	۸۳	۹۶	۳۶	۰.۷	۸.۸
CH53	۳۵ ° ۲۰ ´ ۸.۸۲″	۵۸ ° ۵۵ ´ ۳۷.۱۴″		۳۱	۳۷	۲۲	۳.۳	۷.۹
CH54	۳۵ ° ۱۹ ´ ۵۶.۳۴″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۵۳.۷۱″	۱۸	۷۱	۱۲۸	۵۶۶	۰.۷	۳.۲
CH55	۳۵ ° ۲۰ ´ ۸.۸۲″	۵۸ ° ۵۳ ´ ۵۴.۹۵″		۱۶۱۴۹	۱۹	۱۳۰	۱.۹	۱۰

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

مدل کانی‌سازی

کانسارهای نوع IOCG تعریفی گسترده از یک مدل کانی‌سازی در یک گروه را ارائه می‌دهند. این گروه از ذخایر دارای مگنتیت و یا هماتیت (اسپیکیولاریت) همراه با مقادیر قابل توجهی از کالکوپیریت هستند. افزون بر مس و طلا، کانسارهای این گروه ممکن است دارای مقادیری از Ni ، Ag، W، As، U، Zn، عناصر خاکی نادر سبک (LREE)، Mo، و Co باشند [۲۸،۲۷].کانسارهای اکسید آهن را نخستین بار هیتزمن [۲۹] معرفی و به دو گروه مگنتیت ± آپاتیت (کایرونا) و نوع مس - طلا همراه با اکسید آهن (IOCG) تقسیم کرد. کانسارهای IOCG بعدها توسط پژوهشگران مختلف توصیف و رده‌بندی شده‌اند. کانسارهای IOCG را کریم‌پور [۴] به چهار دسته IOCG همراه با مگنتیت (مس – طلا – اورانیوم- عناصر خاکی نادر) مانند المپیک دم، IOCG همراه با مگنتیت (مس – طلا) مانند کندلاریا، IOCG همراه با اسپیکیولاریت (مس- طلا) قلعه زری و IOCG همراه با اسپیکیولاریت (طلا - مس) مانند کوه زر تقسیم کرده است. ویلیامز و همکاران [۳۰] در ارتباط با کانسارهای IOCG به پنج ویژگی اصلی اشاره کردند که عبارتند از ۱) دارای مس بوده و گاهی با طلا همراه هستند، ۲) کانی‌سازی کنترل ساختاری دارد، ۳) در اکسیدهای آهن، نسبت Fe/Ti در مقایسه با سنگ‌های آذرین بالا بوده است، ۴) هیچ ارتباط مشخصی با توده‌های نفوذی مولد کانی‌سازی ندارند و به نوعی از خاستگاه دور هستند و ۵) از نظر کانی‌شناسی، مگنتیت و هماتیت از نوع اسپیکیولاریت بسیار وجود دارند.

از نظر موقعیت زمین‌ساختی، کانسارهای IOCG در حوضه‌های کششی پشت کمربند پهنه فورانش، کافت‌های درون قاره‌ای، نقاط داغ داخل قاره‌ای و حوضه‌های کششی پس از برخورد قاره‌ای تشکیل می‌شوند [۳۱]. در ارتباط با کانی-سازی، ذخایر IOCG در حوضه‌های کششی پشت کمربند پهنه فورانش، مناطقی از شمال شیلی و جنوب پرو نمونه‌های خوبی از این نظام زمین‌ساختی هستند که کانی‌سازی IOCG به همراه توده‌های نفوذی دیوریت تا گابرو صورت گرفته است. کانسارهای کاندلاریا، مونته ورده و مونته کریستو از معادن مشهور این کمربند هستند [۳۲]. در ارتباط با نظام زمین ساختی در کمربند آتشفشانی – نفوذی خواف –کاشمر– بردسکن (KKBB)، کریم‌پور و همکاران [۳۳] بر اساس بررسی‌های زمین شیمیایی و سن‌سنجی بر واحدهای کوارتز مونزودیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری و گرانودیوریت، مشخص نمودند که آنها از ذوب گوه گوشته‌ای دگرنهاده شده در ۴۰ میلیون سال پیش در پهنه فورانش شکل گرفته‌اند. جدول ۲ ویژگی‌های اصلی کانسارهای IOCG را با کانسار کوه زر و رخداد معدنی فدیهه مقایسه می‌کند. بر این اساس، سنگ میزبان کانسارهای نوع IOCG بیشتر گدازه-های آندزیتی، بازالتی، آندزیت بازالت، سنگ‌های آتشفشان آواری، سنگ‌های رسوبی و تبخیری‌هاست [۳۴-۵۰]. در این بین، کانسار کوه زر که دارای سنگ میزبان از نوع گدازه‌های ریولیتی وآندزیتی بوده بسیار شبیه کانسارهای IOCG است [۳۳]. البته، در رخداد معدنی فدیهه سنگ میزبان با کانسارهای IOCG و کانسار کوه زر متفاوت بوده و بیشتر پیروکسن دیوریت پورفیری،کوارتزمونزونیت پورفیری و هورنبلند مونزوگرانیت است. کانسارهای IOCG بیشتر در ارتباط با گرانیتوئیدهای نوع I (سری مگنیت) هستند که از ذوب‌بخشی سنگ‌های آذرین قدیمی‌تر در بخش میانی یا پایین پوسته با مقادیر متغیری از مواد جبه‌ای به وجود می‌آیند [۳۳]. این فرایند باعث تولید ماگماهایی با مقادیر گوگرد پایین و فلوئور و CO_2، H_2O بالا می‌شود. این ماگماها دارای سرشت آهکی قلیایی با مقدار پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند. ملکزاده شفارودی و همکاران [۶] با انجام بررسی‌های سنگ‌شناسی و تعیین سن U-Pb زیرکن گرانیتوئیدهای سنگان در بخش شرقی کمربند کمربند آتشفشانی – نفوذی خواف –کاشمر– بردسکن، افزون بر معرفی آنها به عنوان سری آهکی قلیایی پتاسیم بالای نوع I، جایگزینی آنها را به ائوسن میانی (سن ۴۲ میلیون سال) نسبت داده‌اند. در ذخایر نوع IOCG، توده‌های نفوذی اسیدی تا حدواسط بوده و بیشتر از نوع دیوریت، میکرودیوریت، کوارتز دیوریت، گرانودیوریت و دایک-های دیوریتی وگرانودیوریتی هستند. در کانسارکوه زر، توده-های نفوذی شامل دیوریت، کوارتز مونزودیوریت، کوارتزمونزونیت، گرانودیوریت و سینوگرانیت هستند. رخداد معدنی فدیهه از نظر نوع توده‌های نفوذی پیروکسن دیوریت پورفیری، کوارتزمونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزوگرانیت و دایک دیوریتی بیشترین شباهت را به کانسار کوه زر و سایر کانسارهای IOCG دارد. کانی‌سازی درکانسارهای نوع IOCG کنترل ساختاری داشته و اغلب شکل هندسی مشابهی دارند و بیشتر به صورت رگه-رگچه‌های داربستی، رگه‌های برشی و مانتو هستند. از این نظر، کانسار کوه زر و رخداد معدنی فدیهه که شکل اصلی کانی‌سازی رگه ـ رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی است، همخوانی خوبی با کانسارهای IOCG دارند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

جدول ۲ مقایسه مشخصه های انواع کانسارهای IOCG [۳۵-۵۰]، وکانسار کوه زر[۳۳] با رخدادمعدنی فدیهه.

ویژگی	کانسارهای(IOCG)	کانسار کوه زر	رخداد معدنی فدیهه
جایگاه زمین‌ساختی	حوضه‌های کششی پشت کمربند پهنه فرورانش، کافت‌های درون قاره‌ای، نقاط داغ درون قاره‌ای و حوضه های کششی پس از برخورد قاره‌ای	کمربند پهنه فرورانش	کمربند پهنه فرورانش
سنگ میزبان	گدازه‌های آندزیتی و بازالتی،سنگ-های‌آتشفشان آواری ورسوبی	گدازه‌های ریولیتی وآندزیتی	پیروکسن دیوریت، هورنبلند مونزوگرانیت،کوارتزمونزونیت
سنگ‌های نفوذی وابسته	دایک‌های دیوریتی، گرانودیوریتی، توده‌های نفوذی کوارتز دیوریت و میکرو دیوریت	دیوریت، گرانودیوریت، کوارتزمونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، سینوگرانیت	به احتمال بسیار دیوریت
شکل وحالت کانی‌سازی	رگه‌های برشی ـ داربستی و برشی، مانتو	رگه-رگچه‌های داربستی و رگه-های برشی	رگه ـ رگچه ای برشی، پرکننده فضای خالی
کانه‌ها	اسپیکیولاریت مگنتیت، پیریت کالکوپیریت ، طلا	اسپیکیولاریت پیریت ،کالکوپیریت ،گالن، طلا	اسپیکیولاریت پیریت ،کالکوپیریت ،گالن
دگرسانی	سیلیسی، پتاسیمی، کلریتی، سرسیت، کربناتی و آلبیتی	سیلیسی، پروپلیتی، آلبیتی‌شدن، به صورت جزئی سرسیتی - آرژیلی	پروپیلیتی سیلیسی ،کلریتی ، آرژیلی
ناهنجاری زمین شیمیایی	Cu ؛Au؛ Mo, LREE , Zn As	Au, W,Ag, LREE	Cu Au Pb

بر اساس جدول ۲، کانی‌شناسی ماده معدنی در بیشتر ذخایر نوع IOCG به طور کلی شامل مگنتیت، اسپیکولاریت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، طلا و اکسیدهای آهن است [۳۵-۵۰] . در کانسار کوه زر و رخدادمعدنی فدیهه، مگنتیت وجود ندارد. از نظر نوع دگرسانی، کانسارهای IOCG دستخوش دگرسانی گرمابی به نسبت شدیدی شده و بسته به جنس سنگ میزبان و عمق تشکیل، دگرسانی‌های متفاوتی را نشان می‌دهند [۲۹،۳۱]. دگرسانی سنگ میزبان و واحدهای آذرین در کانسارهای IOCG اغلب آلبیتی، پتاسیمی، سرسیتی، کربناتی، سیلیسی و کلریتی است. دگرسانی‌ها در رخداد معدنی معدنی فدیهه و کانسار کوه زر شباهت بیشتری به هم داشته و از نظر گسترش دگرسانی پروپیلیتی و نبود دگرسانی پتاسیمی با کانسارهای IOCG تفاوت دارند. البته تکمیل یافته های در منطقه مورد بررسی نیازمند حفر گمانه و بررسی‌های زیرسطحی پهنه‌های دگرسانی است. درکانسارهای IOCG، دگرسانی در ارتباط با کانی‌سازی و کانی‌شناسی ماده معدنی در اعماق مختلف تغییر می‌کند. در مناطق عمیق، اغلب دگرسانی فراگیر سدیمی یا سدیمی ـ کلسیمی رخ می‌دهد که با ظهور کانی‌های آلبیت، کلینوپیرکسن،آمفیبول، اسکاپولیت و تیتانیت مشخص می‌شود [۲۷،۲۸]. در این مرحله، مگنتیت با دمای بالا از کالکوپیریت و پیریت تشکیل می‌شود. کانی‌سازی‌ها در کانسارهای کاندلاریا و المپیک دم نمونه‌هایی از این مرحله هستند. در اعماق متوسط، دگرسانی سدیمی -کلسیمی به نوع سدیمی- پتاسیمی تا پتاسیک تبدیل می‌شود که ویژگی آن حضور بیوتیت ثانویه و فلدسپات پتاسیم است. در این مرحله، مگنتیت به همراه کانی‌های مس از جمله کالکوپیریت و بورنیت تشکیل می‌شود [۲۷]. در مناطق کم عمق‌تر به ویژه در نقاطی که آب‌های سطحی با سامانه‌های گرمابی ارتباط دارند، دگرسانی‌ها سرسیتی- کلریتی بوده و هماتیت نوع اسپیکیولاریت مهترین کانی اصلی اکسید آهن است [۲۷،۲۸]. در بالاترین بخش این سامانه‌ها، رگه‌های کوارتز- اسپیکیولاریت عقیم یا کم عیار طلا دیده شده‌اند [۵۱]. در ارتباط با ناهنجاری زمین‌شمیایی عناصر در کانسارهای IOCG ، پلارد [۲۷] معتقد است که بالارفتن عیار ناشی از ویژگی‌های سنگ خاستگاه، شرایط ذوب بخشی، میزان شکستگی‌ها و مقدار سیال هاست. کرایزر و همکاران [۵۲] معتقدند بسیاری از ذخایر IOCG از

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

Mo یا W غنی شده‌اند که ممکن است بیانگر تولید ماگما از ذوب بخشی سنگ‌های آذرین قدیمی باشند که طی تکامل محلول ماگمایی از یک ماگمای مادر به وجود آمده باشند. عیار Ni و Co که ویژگی برخی از ذخایر IOCG است، تا حدی نشان دهنده ترکیب سنگ خاستگاه است. ذخایر با خاستگاه فلسی در مقایسه با انواع مافیک‌تر مقادیر Cr ،Co، Ni و V کمتری دارند. ذخایر IOCG از نظر عناصر Cu، Au ،Zn ، As و Mo LREEها ناهنجاری زمین‌شیمیایی دارند. کانسار کوه زر اغلب از نظر مقادیر LREEها Au,W,Ag ناهنجاری دارد، ولی مقدار Cu ناچیز است. رخداد معدنی فدیهه از نظر ناهنجاری عناصر Cuو Au، بیشترین شباهت را به کانسارهای IOCG داشته و از نظر مقدار بالای Cu با کانسار کوه زر تفاوت دارد.

برداشت

۱) رخداد معدنی فدیهه از نظرموقعیت زمین ساختی پهنه فورانش، توده‌های نفوذی‌دیوریتی و دایک‌های دیوریتی، ساخت و بافت از نوع رگه،رگچه‌ای و برشی، همبرزایی کانی-شناسی اسپیکیولاریت ،کالکوپیریت و به طور جزئی پیریت و ناهنجاری زمین شیمیایی مس و طلا بیشترین شباهت را به کانسارهای IOCG دارد.

۲) کانه‌زایی در رخداد معدنی فدیهه نیز به شکل همراه با کنترل ساختاری در راستای گسل‌هایی با روند NE ـ SW و SE ـ NW رخ داده است. این گسل‌ها متاثر از سامانه گسل درونه هستند که در فاصله ۷ کیلومتری جنوب منطقه قرار دارد. گسل‌های سازنده کانی‌سازی از نوع راستالغز هستند و گذرگاه مناسبی برای انتقال و مهاجرت محلول‌های کانه‌دار از عمق به سطوح بالاتر و مکان مناسب برای جای‌گیری ذخیره معدنی فراهم کرده‌اند. رگه‌های کوارتز ± اسپیکیولاریت ± کالکوپیریت ± گالن با روند NE و NW بیشتر در اثر فضاهای بازشدگی شکل گرفته‌اند. رگه‌های کوارتز + اسپیکیولاریت± پیریت با روند NW، ارتباط نزدیکی با رخداد برشی شدن ناشی از گسل‌های راستالغز جداشده از گسل درونه دارند.

۳) توده‌های نفوذی پیروکسن دیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری و مونزوگرانیت که میزبان اصلی رگه‌های کانه‌دار هستند، دستخوش دگرسانی پروپیلیتی، سیلیسی و آرژیلی رسی شده‌اند. ازآنجا که رگه‌های کانی‌سازی توده‌های نفوذی را قطع می‌کنند و آثار کانه‌زایی تنها در ارتباط با گسل‌ها دیده می‌شوند، خاستگاه رگه‌های کانه‌دار نمی‌تواند این توده‌های نفوذی باشند و به احتمال بسیار، توده‌های نیمه عمیق دیگری در عمق تامین کننده سیال‌های کانه‌دار هستند.

۴) دگرسانی همرا با رگه‌های کانه‌دار کلریتی و سیلیسی است. سیلیسی شدن دگرسانی مهم همراه با کانی‌سازی است که در حریم رگه‌های کانه‌دار گسترش دارند. این امر نشان‌دهنده غنی بودن محلول کانه‌ساز از سیلیس است.

۵) براساس نتایج بررسی‌های زمین شیمیایی عناصر، بالاترین عیار برای مس ۵ درصد، سرب ۳ درصد، و طلا ۷۹۱ میلی گرم در تن است. با توجه به دیده نشدن طلای آزاد در بررسی‌های میکروسکوپی، این عنصر به احتمال بسیار در شبکه سولفیدها قرار دارد. از سویی، همبستگی پایین مس و طلا، احتمال حضور طلا در شبکه کالکوپیریت را پایین می‌آورد. از این رو، ممکن است طلا که در شبکه پیریت باشد.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۵۱۹۶۸/۳ مورخ ۱۳۹۹/۲/۹ انجام شده است.

مراجع

[1] Vaezipour M.J, Alavi Tehrani M.J, Behroozi A., " *Torbat-Heydariyeh geological map at the scale 1/250000*", (1992).

[2] Behrozi A. , *" Faizabad geological map at the scale 1/100000* ",(1987).

[3] Sahandi M.R, Soheili M., Sadeghi M., Delavar S.T, Jafari Rad A., "*Geological map of Iran with a scale of 1: 1000000*", (2002).

[4] Karimpour M.H., *"Mineralogy, alteration, rock origin and tectonic environment of Cu-Au Iron-Oxides deposits and examples from Iran(In Persian) "* ,The 11th Iranian Conference on Crystallography and Iranian Mineralogy, Yazd University (2003) 184- 189.

[5] Yousefi Sorani L., Heidarian Shahri M. R., Karimpour M. H., *"Geology, Mineralogy, Thermometry of Involved Fluids and Ground Magnetometry of Magnetite Mineralization - Copper-Gold Spicularity of the Region Shahrak Exploration, Torbat Heydariyeh, Iran(In Persian)"* ,Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2008) 505-516.

[6] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., Golmohammadi A., *"Zircon U–Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-North and*

Persian) ", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (2018) 541-554.

[16] Taghadosi H., Malekzade Shafaroudi A., *"Evidence of probable Cu-Au mineralization in Namagh area, Northeast of Kashamr: Alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion studie* (In Persian) ", Scientific Quarterly Journal Geosciences 108 (2018) 105–114.

[17] Alaminia Z., Karimpour M.H., Heydariyan Shahri M.R., *"Geology, alteration, mineralization and geochemical studies in Kalate teymur area, northeastern Iran(In Persian) "*, Journal of Economic Geology 2 (2010-2011) 215-234.

[18] Boroozi niyat B., Malekzade Shafaroudi A., Heydariyan Shahri M.R., *"Mineralogy, geochemistry and fluid inclusion study in Zaveh copper occurrence, southeast of Torbat-e-Heydarieh (In Persian) "*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (2019) 3-18.

[19]Gholami H., *"Mineralization, Geochemistry, Study of Fluids involved and Geochemistry of Sinogranite intrusion in Sangan Copper Mineralization Event, Southeast of Torbat Heydariyeh (In Persian) "*,M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad (1398) 121 p.

[20] Almasi A., Karimpour M.H., Hattori K., Santos J.F., Ebrahimi Nasrabadi Kh., Rahimi B., *"Au bearing magnetite mineralizaion in Kashmar (alteration, mineralization geochemistry, geochemistry and fluid inclusions); and Tectono-magmatism of northeast of Iran(In Persian) "*, Journal of Economic Geology 8 (2016-2017) 569-592.

[21] Almasi A., Karimpour M.H., Ebrahimi Nasrabadi Kh., Rahimi B., KlÖtzli U., Francisco Santos J., *"Geology, mineralization, U-Pb dating and Sr-Nd isotope geochemistry of intrusive bodies in northeast of Kashmar(In Persian) "*, Journal of Economic Geology 7 (2015) 69-90.

[22] Mahvashi M., Malekzadeh Shafaroodi A., *"Mineralogy, Alteration, Geochemistry and Determination of Cheshmeh Gaz (Nasim) Copper Ore Model(In Persian) "*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (2016) 419-434.

[23] Jabbari A., Malekzadeh Shafaroodi A., *"Geology, Alteration, Mineralization and Geochemistry of Kal-e-Abri deposit, northwest of Bardaskan(In Persian) "*, 2nd International Applied Geological Congress (2015).

[24] Almasi A., *"Mineralization, Petrogenesis and Geochemical-Geophysical Explorations of the Leopard-Sersfidal Area East of Kashmar(In Baghak districts, Sangan iron mine, NE Iran"* Journal of Asian Earth Sciences, 64 (5) (2013) 256-271.

[7] Golmohammadi A., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S.A.,, "*Alteration mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangan iron skarn deposit, northeastern Iran*" , Ore Geology Reviews 65 (2015) 545–563.

[8] Mazhari N., Malekzadeh Shafaroodi A., Ghaderi M.,*"Geology, Mineralogy and Chemistry of Skarn and Mineral Areas in the Skarn Iron Ore Mining Area, East of Sangan Khaf Mine(In Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (2016) 83-98.

[9] Mazloumi Bejestani A., Karimpour M.H, Rasa A., Rahimi B., Vosoughi Abedini M., *"Gold ore deposit of Torbat Heydariyeh, a new model of gold mineralization(In Persian)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2008) 363-376.

[10] Ansari Jafari, Sh., Rahimi, B., Ghaemi F., Malekzadeh Shafaroodi, A., Mazloumi Bejestani A.,"*Structural model based on the study of fractures in Zarmehr gold deposit(In Persian)* ", Journal of Advanced Applied Geology, Shahid Chamran University of Ahvaz 15 (2015) 51-58.

[11] Mazloumi Bajestani, A. And Rasa, A., " *Petrology and alteration of intrusive masses associated with gold mineralization of Torbat Heydariyeh(in Persian)*" , Journal of Economic Geology 1(1) (2010)57–69.

[12] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Comparison of the geochemistry of source rocks at Tannurjeh Au-bearing magnetite and Sangan Au-free magnetite deposits, Khorasan Razavi, Iran (in Persian) "* , Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 14 (2006) 3-26.

[13] Hosseini R., Karimpour M.H, Malekzadeh Shafaroodi A., "*Mineralization and microthermometry studies of Tanurjeh porphyry gold exploration area, northeast of Kashmar(In Persian) "*, 35th National Conference on Earth Sciences (2016) 8 p.

[14] Hosseini R., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Petrography, geochemistry, U-Pb dating and Sr-Nd isotopes of igneous rocks in Tannurjeh porphyry Au-Cu prospect area NE of Kashmar* (In Persian) ",Journal of Petrology 33 (2018) 45-70.

[15] Taghadosi H., Malekzade Shafaroudi A., *"Mineralogy, alteration, geochemistry and fluid inclusion study of iron oxide-copper mineralization in Namagh area, northeast of Kashmar*(In

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

Sillitoe RH, Petersen R (eds) Andean copper deposits: New discoveries, mineralization styles and Metallogeny. Society of Economic Geology, Special Publication 5 (1996) 157–169.

[35] Zamora R., Castillo B.,"*Mineralizacio´ n de Fe-Cu-Au en el distritoMantoverde, Cordillera de la Costa, III Regio´n de Atacama, Chile"*, In: Proc 2ndCongrInt de Prospectores y Exploradores, Lima, Conferencias, Inst de Ingenieros de Minas del Peru´, Lima, 13 (2001).

[36] Marschik R., Leveille R.A., Martin W.,"*La Candelaria and the Punta del Cobre district, Chile, Early Cretaceous iron oxide Cu-Au(-Zn-Ag) mineralization"*, In: Porter TM (ed)Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits, A global perspective, Australian Mineral Foundation, Adelaide 1 (2000) 163–175.

[37] Marschik R., Leveille R.A.,"The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide copper-gold deposits, Chile", Geological Society of America, Abstracts with Programs, A-371 (1998).

[38] Gelcich, S., Davis, D.W., Spooner, E.T.C., "*Testing the apatite-magnetite geochronometer: U-Pb and 40Ar/39Ar geochronology of plutonic rocks, massive magnetite- apatite tabular bodies, and IOCG mineralization in Northern Chile"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 69(2005) 3367–3384.

[39] Benavides, J., Kyser, T.K., Clark, A.H., Oates, C.J., Zamora, R., Tarnovschi, R., Castillo, B., *"The Mantoverde iron oxide-copper-gold district, III Región, Chile: the role of regionally derived, nonmagmatic fluids in chalcopyrite mineralization"*, Economic Geology: 102(2007) 415-440.

[40] Rieger, A., Marschik, R., Díaz, M., Hölzl, S., Chiaradia, M., Akker, B., Spangenberg, J., *"The hypogene iron oxide copper–gold mineralization in the Mantoverde district North Chile"*, Economic Geology 105(2010) 1271–1299.

[41] Rieger, A., Marschik, R., Díaz, M., "*The evolution of the hydrothermal IOCG system in the Mantoverde district, northern Chile: new evidence from microthermometry and stable isotope geochemistry"*, Mineralium Deposita 47(2012) 359–369.

[42] Ryan, P.J., Lawrence, A.L., Jenkins, R.A., Matthews, J.P., Zamora, J.C., Marino, E., Urquerta Diaz, I., "*The Candelaria copper-gold deposit, Chile. In: Pierce, F.W., Bolm, J.G. (Eds.), Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera"*, Arizona Geological Society Digest 20, Tucson (1995)625–645.

Persian) ", Ph.D. Thesis, Economic Geology, Ferdowsi University of Mashhad (2016) 280 p.

[25] Karimpour M.H, Saadat S., Malekzadeh Shafaroodi A., *"Geochemistry, Petrology and Mineralization of Gold-Tanfarjeh Porphyry Copper (In Persian) "*, Journal of Science, University of Tehran 3 (2006) 185-173.

[26] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[27] Pollard , P. J., *"Evidence of a Magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu- Au mineralization"*, In: Porter TM (ed) Hydrothermal iron oxide copper –gold and related deposit: Australian Mineral Foundation, Adelaid 1(2000)27-41.

[28] Sillitoe, R.M., *"Iron oxide-copper-gold deposits"*, An Andean view: Mineralum Deposita 38 (2003)787–812.

[29] Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T., "*Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu–U– Au–REE) deposits"*, Precambrian Research 58(1992) 241–287.

[30] Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontboté, L., de Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S., Marschik, R.,*"Iron oxide copper-gold deposits: Geology, Space-time distribution, and possible modes of origin"*, 100th Anniversary of Economic Geology (2005) 371–405.

[31] Hitzman, M.W., *"Iron oxide–Cu–Au deposits: what, where, when and why"*, *In*: Porter, T.M. (Eds.), Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective 2, Adelaide: Australian Mineral Foundation (2000)9–25.

[32] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazloumi Bajestani A., Keith Schader R., Stern Ch. R., Farmer L., Sadeghi M., *"Geochemistry, geochronology, isotope and fluid inclusion studies of the Kuh-e-Zar deposit, Khaf-Kashmar-Bardaskan magmatic belt, NE Iran: Evidence of gold-rich iron oxide–copper–gold deposit"*, Journal of Geochemical Exploration 183 (2017) 58-78.

[33] Pollard , P. J., "*Geochemistry of post 1540 Ma.Granites in the Cloncury district Northwest Queensland"*, Journal of Economic Geology 93(1998)1330-1344.

[34] Vidla T., Lindsay N., Zamora R., "*Geology of the Mantoverde copper deposit, northern Chile: A specularite-rich, hydrothermal- tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone"*, In: Camus F,

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]

alteración hidrotermal del depósito IOCG Diego de Almagro, III Región de Atacama, Chile", XIV Congreso Geológico Chileno. Actas, 3 p. La Serena, Chile. (2015).

[49] Rivera S., Cerda A., Garay B., Kovacic P., Villegas P., " *Descubrimiento y Geología del yacimiento tipo IOCG Casualidad. Distrito Sierra Overa, II Región de Antofagasta, Chile",* XII Congreso Geológico Chileno. Simposio S11 Metalogénesis Andinay Exploraciones Mineras, Actas. Santiago Chile S11_039 (2009) 4 p.

[50] Kovacic P., Barra F., Tornos F., Morata D., Cerda A., *"Nuevos antecedents geológicos y geoquímicos del yacimiento tipo IOCG Casualidad, Distrito Sierra Overa, II Región de Antofagasta, Chile",* XIII Congreso Geológico Chileno. Actas (3Antofagasta, Chile) (2012) 43–45.

[51] Haynes D. W., "*Iron Oxide Copper(-Gold) deposit: their position in the ore deposit spectrum and modes of origin",* in porter, T.M(ED) hydrothermal Iron oxide copper –gold and related deposit: Australian Mineral Foundation, Adelaid 1 (2000)71-90.

[52] Creaser R.A., Price R.A.,Wormald R.j., " *A-type granites revisited: assessment of a residual source model",* Geology 79(1991)371-394

[43] Marschik R., Fontboté L., *"The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu–Au–Zn–Ag deposits, Chile",* Economic Geology 96(2001) 1799–1826.

[44] Mathur R., Marschik R., Ruiz J., Munizaga F., Leveille, R.A., Martin,W., " *Age of mineralization of the Candelaria Fe oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt, based on Re-Os isotopes",* Economic Geology 97(2002) 59–71.

[45] Hopper D., Correa A., "*The Panulcillo and Teresa de Colmo copper deposits: two contrasting examples of Fe-ox-Cu-Au mineralisation from the Coastal Cordillera of Chile",* In: Porter, T.M. (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide, (2000)177–189.

[46] Correa, A., " *Geología del yacimiento de Fe-Cu Teresa de Colmo, Regio´ n de Antofagasta, Chile",* IX Congreso Geológico Chileno. Actas 2(2000)102–106.

[47] Herrera V., Garmendia P., Pizarro R., Proyecto Diego de Almagro., " *Geología y mineralización tipo IOCG, Región de Atacama, Norte de Chile",* XIII Congreso Latinoamericano de Geología. Actas 2(2008)1–6.

[48] Loyola, N., Barra, F., Gatica, A., Reich, M., Salazar, E., Palma, E., " *Mineralización y*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.5.9]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.57]